

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-190001

(43)Date of publication of application : 21.07.1998

(51)Int.Cl.

H01L 29/786

C09K 3/00

H01L 21/336

(21)Application number : 09-331398

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 02.12.1997

(72)Inventor : BAO ZHENAN
DODABALAPUR ANANTH
FENG YI
RAJU VENKATARAM REDDY

(30)Priority

Priority number : 96 770535 Priority date : 20.12.1996 Priority country : US

(54) MANUFACTURE OF ORGANIC THIN FILM TRANSISTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form an organic semiconductor layer by forming an active layer of organic material and permitting the layer to have a carrier mobility of a specific value or higher and a conductivity of a specific value or lower.

SOLUTION: An active semiconductor layer is formed of organic polymer having a carrier mobility of approximately $10^{-3}\text{cm}^2/\text{Vs}$ or higher and a conductivity of approximately 10^{-5}s/cm or lower. An organic material active layer is composed of regioregular homopolymer (3-alkylthiophene). The alkyl group has at least 2-12 carbon atoms and is represented by a character R. Branched chains, such as isopropyl and isobutyl, and straight chain alkyl are the examples of the alkyl group. In the regioregular homopolymer of the 3-alkylthiophene monomer, the orientation of the alkyl group of the thiophene part is regular in regard to the thiophene part which adjoins the polymer chain.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

05.04.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

07.05.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-190001

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月21日

(51) Int.Cl.⁸ 識別記号

H 0 1 L 29/786

C 0 9 K 3/00

H 0 1 L 21/336

F I

H 0 1 L 29/78

C 0 9 K 3/00

H 0 1 L 29/78

6 1 7 T

R

6 1 8 Z

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-331398

(22) 出願日 平成9年(1997)12月2日

(31) 優先権主張番号 08/770535

(32) 優先日 1996年12月20日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッドLucent Technologies
Inc.アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

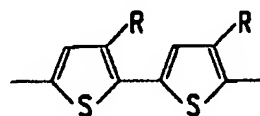
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 有機薄膜トランジスタの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 活性層が有機材料であって、そのキャリア移動度が $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であり、伝導度が約 10^{-3} S/cm 以下であるような、半導体薄膜トランジスタ (TFT) を実現する。

【解決手段】 有機半導体材料は、3-アルキルチオフェンモノマーのホモポリマーである。このホモポリマーは位置規則的(regioregular)構造を有し、チオフェン部分のアルキル基(R基)の配向は、ポリマー鎖上で隣接するチオフェン部分に関して規則的である。すなわち、ポリマーバックボーンにおいて2つの隣接するチオフェン部分に対して、ただ1個のアルキル基がこれらの2つのチオフェン部分の間の空間に配向するように、チオフェン部分のアルキル基は配置される。ポリマー中のほとんどのチオフェン部分はこの「規則的」配向のアルキル基を有する。



【特許請求の範囲】

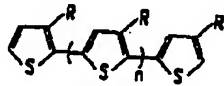
【請求項1】 基板上にゲート電極を形成するステップと、

前記基板上に絶縁材料層を形成するステップと、
有機材料と溶媒からなる溶液を前記絶縁材料層の上に塗布して有機材料活性層を形成するステップと、
前記有機材料活性層に接触してソース電極およびドレイン電極を形成するステップとからなる、有機薄膜トランジスタの製造方法において、

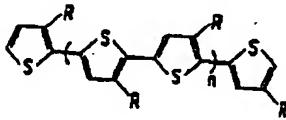
前記有機材料活性層のキャリア移動度は約 $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であることを特徴とする、有機薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項2】 前記有機材料活性層は位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)からなることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項3】 位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)は、
【化1】



および
【化2】



からなる群から選択される構造を有することを特徴とする請求項2の方法。

【請求項4】 Rは置換アルキル基または非置換アルキル基であることを特徴とする請求項3の方法。

【請求項5】 アルキル基は2～12個の炭素原子を有することを特徴とする請求項4の方法。

【請求項6】 前記溶媒は塩素化有機溶媒からなることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項7】 前記塩素化有機溶媒はクロロホルムであることを特徴とする請求項6の方法。

【請求項8】 前記溶液は前記絶縁材料層上にプリントされることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項9】 前記絶縁材料層は、ポリイミド、ポリエステル、およびポリメチルメタクリレートからなる群から選択されることを特徴とする請求項1の方法。

【請求項10】 前記絶縁材料層は前記基板上にプリントされることを特徴とする請求項9の方法。

【請求項11】 基板上にゲート電極を形成するステップと、

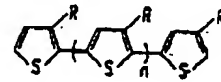
前記基板上に絶縁材料層をプリントするステップと、
有機材料と溶媒からなる溶液を前記絶縁材料層の上にプリントして有機材料活性層を形成するステップと、

前記有機材料活性層に接触してソース電極およびドレイン電極を形成するステップとからなる、有機薄膜トランジスタの製造方法において、

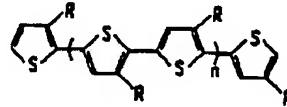
前記有機材料活性層のキャリア移動度は約 $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であることを特徴とする、有機薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項12】 前記有機材料活性層は位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)からなることを特徴とする請求項11の方法。

【請求項13】 位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)は、
【化3】



および
【化4】



からなる群から選択される構造を有することを特徴とする請求項12の方法。

【請求項14】 Rは置換アルキル基または非置換アルキル基であることを特徴とする請求項13の方法。

【請求項15】 アルキル基は2～12個の炭素原子を有することを特徴とする請求項14の方法。

【請求項16】 前記溶媒は塩素化有機溶媒からなることを特徴とする請求項11の方法。

30 【請求項17】 前記塩素化有機溶媒はクロロホルムであることを特徴とする請求項16の方法。

【請求項18】 前記絶縁材料層は、ポリイミド、ポリエステル、およびポリメチルメタクリレートからなる群から選択されることを特徴とする請求項11の方法。

【請求項19】 基板(110)上のゲート電極(130)と、

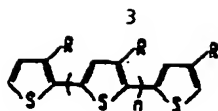
前記基板上の絶縁材料層(120)と、
前記絶縁材料層上の位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)活性層(150)と、

40 前記位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)活性層に接触するソース電極およびドレイン電極(140、150)とからなる薄膜トランジスタ(100)において、

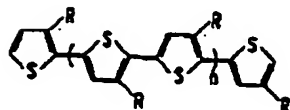
前記位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)は基板表面に平行に配向したポリマーバックボーンを有し、前記活性層のキャリア移動度は約 $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であることを特徴とする薄膜トランジスタ。

【請求項20】 位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)は、
【化5】

50 【化5】



および
【化6】



からなる群から選択される構造を有することを特徴とする請求項19の薄膜トランジスタ。

【請求項21】 Rは置換アルキル基または非置換アルキル基であることを特徴とする請求項20の薄膜トランジスタ。

【請求項22】 アルキル基は2～12個の炭素原子を有することを特徴とする請求項21の薄膜トランジスタ。

【請求項23】 前記絶縁材料層は、ポリイミド、ポリエステル、およびポリメチルメタクリレートからなる群から選択されることを特徴とする請求項19の薄膜トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、有機材料の活性層を含む薄膜トランジスタ(TFT)、および、そのようなトランジスタの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】最近、薄膜電界効果トランジスタ(FET)内の活性半導体層として使用するために有機材料が検討されている。有機材料は加工が容易であり、一般に薄膜FETが形成されるプラスチック基板と親和性が高いので、薄膜デバイス内の活性半導体層としての使用は魅力的である。このような長所は、低コストで大面積のデバイスを製造する際に重要である。有機半導体が薄膜FET内の活性半導体層として使用されるためには、結果として得られるデバイスのオン/オフ比が受け入れられるものでなければならない。一般に、薄膜FETのオン/オフ比は少なくとも 10^3 でなければならない。ここで使用するオン/オフ比という用語は、トランジスタがオンであるときのソースドレイン電流の、トランジスタがオフであるときのソースドレイン電流に対する比のことである。

【0003】有機半導体材料が活性半導体層としての使用に適しているかどうかを示す有機半導体材料の性質は、キャリア移動度および(電気)伝導率である。キャリア移動度(μ)は、半導体材料の層内での粒子(例えば、電子、正孔)の平均のドリフト速度の尺度であり、このような粒子の運動が、加えられる電界によってどのくらい強く影響を受けるかを決定するため重要である。伝導率(σ)は、半導体材料層が電荷を伝導する能力を

記述する。伝導率は次式によってキャリア移動度と関連づけられる。

$$\sigma = q p \mu$$

ただし、 p はキャリア密度であり、 q は電気素量である。キャリア移動度が約 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ (センチメートル²/ボルト・秒)以上で伝導率が約 10^{-3} S/cm (ジーメンズ/センチメートル)以下の有機半導体材料は、薄膜FET内の活性半導体層として有用な可能性がある。このような性質の活性半導体層を有するFETは少なくとも約 10^3 のオン/オフ比を有するであろう。

【0004】有機薄膜トランジスタ(TFT)デバイスを製造する方法として、電気化学重合、溶液塗布および真空堆積という3つの方法が用いられている。Tsumura, A., et al., "Macromolecular electronic device: Field-effect transistor with a polythiophene thin film", Appl. Phys. Lett., vol.49 (18), pp.1210-1212 (1986)、には、2, 2'-ビチオフェンと過塩素酸テトラエチルアンモニウム電解質をアセトニトリル溶液中で $100 \mu\text{A/cm}^2$ (マイクロアンペア/センチメートル²)の定電流で電気化学重合して半導体有機高分子(ポリマー)を形成することが記載されている。このような電気化学重合を用いて形成される有機ポリマーは、キャリア移動度が約 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ のポリチオフェン化合物であり、薄膜FETで使用する材料としては不満足である。

【0005】Assadi, A., et al., "Field-effect mobility of poly(3-hexylthiophene)", Appl. Phys. Lett., vol.53 (3), pp.195-197 (1988)、には、ポリ(3-ヘキシルチオフェン)をクロロホルムに濃度 1 mg/ml で溶解した後に基板上にスピンコートしてアモルファスのポリ(3-アルキルチオフェン)半導体高分子膜を形成することが記載されている。形成される有機ポリマーは、キャリア移動度が約 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs} \sim 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ のポリ(3-ヘキシルチオフェン)膜であり、薄膜デバイスで使用する材料としては不満足である。

【0006】Fuchigami, H., et al., "Polythiophene vinylene thin-film transistor with high carrier mobility", Appl. Phys. Lett., vol.63 (10), pp.1372-1374(1993)、には、ポリチエニレンビニレン半導体膜をポリマーの可溶性プリカーサ(前駆体)から形成することが記載されている。プリカーサポリマーを溶液から堆積した後、化学反応によって半導体ポリマーに変換する。この2ステップのFuchigami et al.のプロセスを用いて形成される有機半導体ポリマーのキャリア移動度は約 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ である。

【0007】オリゴチオフェンのようなオリゴマーの真空堆積によって形成される有機半導体ポリマーが、Garnier, F., et al., "All-Polymer Field-Effect Transist

or Realized by Printing Techniques", Science, vol. 265, pp.1684-1686 (1994), に記載されている。真空堆積によって形成される有機半導体ポリマーのキャリア移動度は約 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ である。しかし、Garnier et al. に記載されているプロセスは高価な蒸発装置を用いているので、低コスト薄膜 FET を製造するためにこのようなプロセスを利用することは制限される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従って、有機半導体層を形成するために用いられる技術がさらに求められている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、活性層が有機材料であって、そのキャリア移動度が $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であり、伝導度が約 10^{-3} S/cm 以下であるような、半導体薄膜トランジスタ (TFT) の製造方法に関する。この有機半導体材料は、3-アルキルチオフェンモノマーのホモポリマーである。このホモポリマーは位置規則的(regioregular)構造を有する。

【0010】3-アルキルチオフェンモノマーの位置規則的のホモポリマーでは、与えられたチオフェン部分のアルキル基(R基)の配向は、ポリマー鎖上で隣接するチオフェン部分に関して規則的である。すなわち、ポリマーバックボーンにおいて与えられた2つの隣接するチオフェン部分に対して、ただ1個のアルキル基がこれらの2つのチオフェン部分の間の空間に配向するように、チオフェン部分のアルキル基は配置される。ポリマー中のほとんどのチオフェン部分はこの「規則的」配向のアルキル基を有する。しかし、少なくとも95パーセントのチオフェン部分がこのような配向のアルキル置換基を有するよう位置規則的の3-アルキルチオフェンポリマーであれば適当であると考えられる。

【0011】本発明の一実施例では、TFTは、有機半導体材料の活性層を有する金属-絶縁体-半導体電界効果トランジスタ(MIS-FET)である。このTFTは、ガラス、シリコン、あるいはプラスチックのような従来の基板材料上に形成される。絶縁材料の層は、スピンコート、鋳込成形あるいはスクリーンプリントなどのさまざまな技術を用いて基板上に形成される。絶縁材料という用語は、伝導度が約 10^{-12} S/cm 以下の材料をいう。活性層は絶縁層上に形成される。

【0012】一般に、デバイスは、離間した3個の接点を有する。これらの接点のうちの少なくとも2個は、有機半導体層と物理的に接触し、このような半導体層の少なくとも一部を通る電流路を有する。第3の接点は、基板と物理的に接触し、第1の接点と第2の接点の間に位置する半導体層を通る電流を制御する。接点は金属からなる。MIS-FETデバイスにおける接点として用いられる金属は従来どおりであり、当業者に周知である。適当な金属の一例は金である。

【0013】本発明のプロセスにおいて、活性半導体層は、有機材料と溶媒からなる溶液を絶縁材料の層の上に塗布することによって形成される。有機材料と溶媒の溶液は、スピンコート、鋳込成形およびプリントなどのさまざまな技術を用いて塗布される。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明は、活性半導体層を有するTFTデバイスの製造方法に関する。活性半導体層は、キャリア移動度が約 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上で伝導度が約 10^{-3} S/cm 以下の有機ポリマーである。本発明のプロセスによって製造されるデバイスの20℃でのオン/オフ比は約 10^3 以上である。

【0015】図1に、TFTの活性半導体層として用いられる3-アルキルチオフェンモノマーの位置規則的のホモポリマーを示す。アルキル基は少なくとも2~12個の炭素原子を有し、図1および図2では文字Rで一般的に表している。このアルキル基の例としては、イソプロピルやイソブチルのような分岐鎖や、直鎖アルキルがある。アルキル基は、置換されていても置換されていなくてもよい。置換されている場合、適当な置換基の例としては、カルボン酸、スルホン酸、およびチオールがある。

【0016】3-アルキルチオフェンモノマーの位置規則的のホモポリマーでは、チオフェン部分のアルキル基の配向は、ポリマー鎖の隣接するチオフェン部分に関して規則的である。すなわち、ポリマーバックボーンにおいて与えられた2つの隣接するチオフェン部分に対して、ただ1個のアルキル基がこれらの2つのチオフェン部分の間の空間に配向する。2つの異なる位置規則的のポリ(3-アルキルチオフェン)構造をそれぞれ図1および図2に示す。図1の構造では、チオフェン部分はポリマーバックボーンに対して一定の配向である。その結果、図1のR基はポリマー鎖の片側にある。図2の構造では、鎖中のチオフェン部分の配向はポリマーバックボーンに対して第1の配向と第2の配向の間で交互になっている。第1配向のチオフェン部分のR基はポリマーバックボーンの第1の側にある。第2配向のチオフェン部分のR基はポリマーバックボーンの第1の側とは反対の側にある。図1および図2に示したポリマー内のR基の位置は規則的であるため、位置規則的(regioregular)という。ポリマーバックボーンを構成するチオフェン部分のR基のこのような位置規則的配向のことを以下ではHT(head-to-tail)連結という。一般に、3-アルキルチオフェンモノマーのホモポリマーは少なくとも95%のHT連結を有し、ポリマー鎖中の少数のチオフェン部分(約5%以下)は、位置規則的配向に従わない配向を有する。

【0017】図3に、本発明のプロセスを用いて形成される金属-絶縁体-半導体(MIS)FET型のデバイスの例を示す。MISFET100は基板110を有

し、その上に、絶縁材料層120および金属接点130が形成される。さらに2つの金属接点140および150が、絶縁材料層上に形成される。有機半導体材料層160が、接点140および150の上およびそれらの間に形成される。(MISFETの別の例(図4)では、金属接点130は基板と絶縁材料層120の間に形成され、金属接点140および150は有機半導体材料層160の上に形成される。)

【0018】基板110は、シリコン、ガラス、あるいはプラスチックのような従来の材料からなる。接点130、140、150は、金、インジウムスズ酸化物(ITO)、導電性インク、あるいは導電性ポリマーのようなこの目的のための従来の材料からなる。接点130、140、150は従来の周知の方法を用いて形成され、ここでは詳細には説明しない。

【0019】一実施例では、絶縁材料層120は有機材料である。有機絶縁材料の例には、ポリイミド、ポリエステル、およびポリメチルメタクリレート(PMMA)がある。絶縁材料層は、有機絶縁材料を基板表面上に鑄込成形、スピコートあるいはプリントすることによって形成される。一実施例では、絶縁材料はスクリーンマスクを用いて基板上にプリントされる。スクリーンマスクは、1インチあたり400メッシュカウントで乳剤の厚さが約7.5マイクロメートル(μm)のステンレススチール織布からなる。有機材料をステンレススチール織布に塗布し、スクイージー(ドクターブレード)を用いてスクリーンの開口を通して有機材料を基板表面上に押し出す。このようなスクリーンプリントを用いて形成される絶縁材料の厚さは約0.1マイクロメートル(μm)~1.0マイクロメートル(μm)である。一般に、絶縁材料のキャパシタンスは約 $10^{-8}\text{F}/\text{cm}^2$ (ファラド/平方センチメートル)とする。別法として、絶縁材料層は、二酸化シリコン、窒化シリコン(Si_3N_4)、あるいは酸化アルミニウム(Al_2O_3)のような無機材料から、従来技術で周知の方法を用いて形成することも可能である。

【0020】活性有機半導体材料層160は、位置規則的有機ポリマーと適当な溶媒の溶液を、スピコート、鑄込成形、あるいはプリントのような従来の方法を用いて塗布することによって形成される。例えば、位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)化合物は、クロロホルム、塩化メチレン、クロロベンゼン、およびテトラクロロエチレンのような塩素化有機溶媒に可溶である。沈殿したポリマーを含む溶液から形成した膜には不連続が生じるので、有機ポリマーは溶媒に完全に溶解することが望ましい。有機半導体材料層160の厚さは少なくと

も300Åである。

【0021】例として、図3のMISFETのようなMIS-FET型TFTは、nドープしたシリコン基板110上にチャネル長 $12\mu\text{m}$ 、ゲート長 $250\mu\text{m}$ で形成される。厚さ3000Åの二酸化シリコン(SiO_2)層が基板110上に形成される。絶縁材料層120は、キャパシタンスが約 $10\text{nF}/\text{cm}^2$ (ナノファラド/平方センチメートル)の SiO_2 層である。2つの別々の金属接点140、150が絶縁材料層120の上に形成される。第3の接点はシリコン基板110上に直接形成される。ポリ(3-アルキルチオフェン)層が絶縁材料層120の上に形成され、その上に接点140、150が形成される。

【0022】

【実施例】位置規則的なポリ(3-ヘキシルチオフェン)(PHT)、ポリ(3-オクチルチオフェン)(POT)およびポリ(3-ドデシルチオフェン)(PDT)を、Aldrich Chemical Companyから入手した。これらのポリマーにおける連結は、少なくとも98.5%がHT連結であった。ポリマーの平均分子量は25,000以上であり、多分散度(polydispersity)は約1.5であった。これらのポリマーをトルエンに溶解してアセトンから沈殿させることにより精製した。精製を全部で3回実行した後、アセトンで抽出した。

【0023】それぞれの位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)(0.01g/ml)を室温でクロロホルムに溶解し、孔径0.200 μm のポリテトラフルオロエチレン(PTFE)メンブランシリンジフィルタで濾過した。

【0024】上記の位置規則的ポリ(3-アルキルチオフェン)化合物を活性層として用いて、図3に関して上記で一般的に説明したようにして、デバイス形成した。溶解したポリマーを含む溶液を鑄込成形によって絶縁層上に塗布した。結果として得られた膜の厚さは溶液の濃度に依存した。この基板を真空環境で24時間乾燥させた。さらに、一部の基板については、窒素(N_2)ガスを水酸化アンモニウム水溶液中で発泡させた容器内にこの基板を入れることによって、ポリ(3-アルキルチオフェン)を気体アンモニア(NH_3)に10時間暴露した。

【0025】上記のようにして調整した膜のキャリア移動度および伝導度を以下の表1にまとめる。これらの膜から製造したデバイスのオン/オフ比も示す。

【0026】

【表1】

	膜のキャリア移動度 (cm^2/Vs)	膜の伝導度 (S/cm)	デバイスの オン/オフ比
PHT	$1.0 - 3.9 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-5} - 1.5 \times 10^{-4}$	100 - 400
PHT (NH_3 暴露)*	$1.0 - 2.1 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-7} - 1.5 \times 10^{-6}$	1000 - 9000
POT	$1.0 - 2.5 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-5} - 7.5 \times 10^{-5}$	10 - 60
PDT	$2 \times 10^{-6} - 10^{-4}$	$4 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-7}$	10 - 30

*PHT膜を鋳込成形により塗布した後、基板を真空環境で乾燥させ、 NH_3 に暴露した。

【0027】表1にまとめたキャリア移動度、伝導度、およびオン/オフ比の値の範囲は、角半導体材料層ごとに少なくとも2つの基板を用いて形成したデバイスで測定した。例えば、ヘキシル置換基を有する半導体有機ポリマー層を10個の基板上に形成し、少なくとも20個のデバイスを各基板上に形成した。

【0028】表1にまとめたキャリア移動度 μ は次式を用いて計算した。

$$I_{os} = (WC_1/2L)\mu(V_g - V_o)^2$$

ただし、Wはチャネル幅(250 μm)、Lはチャネル長(12 μm)、および、 C_1 は絶縁材料層の単位面積あたりのキャパシタンス(10nF/ cm^2)である。

上記の式を用いてキャリア移動度 μ を計算するため、飽和領域におけるドレインソース電流(I_{os})の平方根と、デバイスのゲート電圧(V_g)の間の関係から、測定値から $I_{os} = 0$ へ外挿することによって、見かけのしきい値電圧(V_o)が決定される。飽和領域における I_{os} は、与えられた V_g におけるドレインソース電圧(V_{os})とドレインソース電流の間の関係を観測することによって決定される。飽和領域における I_{os} とは、ドレインソース電圧を上げて I_{os} がもはや増大しないときの I_{os} である。飽和領域における I_{os} は V_g とともに変動する。 V_o を決定する方法は従来のものであり、当業者には周知である。

【0029】伝導度は次式から決定した。

$$\sigma = C_1 V_o \mu / d$$

ただし、 C_1 は絶縁層のキャパシタンス、 V_o は見かけのしきい値電圧、 μ はキャリア移動度、および、 d は半導体ポリマー膜の厚さである。

【0030】オン/オフ比は、ゲート電圧(V_g)がドレイン電圧(V_o)以上であるときに飽和状態で流れるドレイン電流の、 V_g が0のときに流れるドレイン電流に対する比である。例えば、 V_o および V_g がいずれも-100Vのとき I_{os} が 9×10^{-6} Aで、 $V_g = 0$ かつ $V_o = -100$ Vのとき I_{os} が 1×10^{-9} Aである場合、デバイスのオン/オフ比は 9×10^3 である。

【0031】発明者は特定の理論にこだわるものではないが、デバイスの性能はポリ(3-アルキルチオフェン)膜の形態(モルフォロジー)に関連していると考えられる。表1に列挙した位置規則的ポリ(3-ヘキシル

チオフェン)膜のX線回折分析を図5に示す。これによれば、非常に強く鋭い1次回折ピークが 5.4° にあり、2次回折ピークは 10.8° 、3次回折ピークは 16.3° にあり、 16.36\AA の分子間間隔に対応する(グラフ参照)。このような分子間間隔は、アルキル基によって離間された、チオフェン鎖の層の(基板面に平行な)平面状積層を提供する。このようにして、チオフェンポリマーバックボーンは一般に基板表面に平行となる。

【0032】同じ位置規則的ポリ(3-ヘキシルチオフェン)膜に対して実行した電子回折分析も図5に示してある。電子回折は約 $3.7 \sim 3.8\text{\AA}$ に主要なピークを示しており、これは、隣接する鎖中の積層したチオフェン環の間の距離に対応する。チオフェン環間隔に対するこのような値は、ヘキシル基が基板の表面にほぼ垂直に配向し、積層したチオフェン鎖の方向が基板に平行であるという好ましい配向を示している。

【0033】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明によれば、活性層が有機材料であって、そのキャリア移動度が $10^{-3} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上であり、伝導度が約 $10^{-5} \text{S}/\text{cm}$ 以下であるような、半導体薄膜トランジスタ(TFT)が実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】HT(head-to-tail)連結の配位規則的構造を含むポリ(3-アルキルチオフェン)化合物の構造の図である。

【図2】図1に示した配位規則的構造に相補的なHT連結の図である。

【図3】本発明のプロセスを用いて形成される金属-絶縁体-半導体(MIS)FETの図である。

【図4】図3のMISFETの変形例の図である。

【図5】ポリ(3-ヘキシルチオフェン)層のX線回折および電子回折分析の図である。

【符号の説明】

100 MISFET

110 基板

120 絶縁材料層

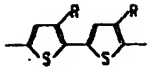
130 金属接点

140 金属接点

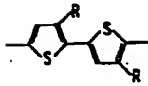
150 金属接点

160 有機半導体材料層

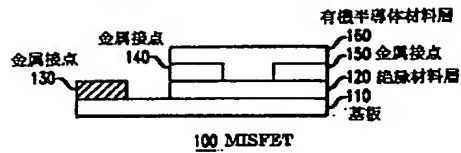
【図1】



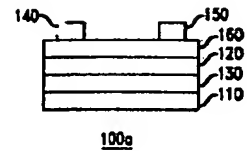
【図2】



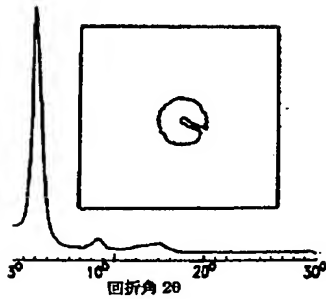
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 ゼナン パオ

アメリカ合衆国、07060 ニュージャージ
ー、ノース ブレインフィールド、ロック
アベニュー 1275、アパートメント ジ
エイエイ8

(72)発明者 アナンス ドダバラバー

アメリカ合衆国、07946 ニュージャージ
ー、ミリントン、ヒルトップ ロード 62
イ フェン

(72)発明者

アメリカ合衆国、44321 オハイオ、コー
ブリー、コブルストーン ドライブ 4343

(72)発明者

ベンカタラム レディ ラジュ
アメリカ合衆国、07974 ニュージャージ
ー、ニュー プロビデンス、プリンストン
ドライブ 49

THIS PAGE BLANK (USPTO)